

**Vysoká škola báňská–Technická univerzita Ostrava**  
**Hornicko-geologická fakulta**

## **Úprava vody pro hemodialýzu**

**bakalářská práce**

**Student: Michal Ptáček**

**Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Petr Praus, Ph. D.**

**Studijní obor: Technologie a hospodaření s vodou**

**Datum zadání bakalářské práce: 31. 10. 2009**

**Termín odevzdání bakalářské práce: 15. 4. 2010**

## **Prohlášení**

- Celou bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- Byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 1.4 2010

Michal Ptáček

## Anotace

PTÁČEK, M.: *Úprava vody pro hemodialýzu*. Bakalářská práce. Ostrava: VŠB-TUO, 2010.

Předkládaná bakalářská práce řeší problematiku úpravy vody pro hemodialýzu. Přináší stručný přehled metod nahrazujících funkci ledvin, shrnuje jejich fyzikálně-chemický princip a použití.

Popisuje význam a funkci jednotlivých komponent strojního a přístrojového vybavení speciálních nemocničních úpraven vod, jejichž produktem je permeát, tedy tekutina používaná jako nosný roztok přiváděný k polopropustné membráně dialyzačních monitorů.

V závěru je provedeno obecné shrnutí problematiky.

Klíčová slova: *Hemodialýza, osmóza, permeát.*

## Annotation

PTACEK, M.: *Water treatment for hemodialysis*. Bachelor's thesis. Ostrava: Mining Faculty-Technical college of Ostrava University, 2010.

Presented bachelor's thesis deals with water treatment for hemodialysis which has been used in hospitals. The thesis describes methods of blood cleaning and their use.

The thesis describes importance and function of each machine or instrument which takes part in the water treating process where water became permeate.

Finally, the summary of the thesis concludes the whole work.

Key words: *Hemodialysis, osmosis, permeate.*

## OBSAH

Seznam použitých symbolů a zkratk .....	5
1 Úvod .....	6
2 Osmóza, reverzní osmóza, filtrace .....	7
2.1 Naturální osmóza .....	7
2.2 Reverzní osmóza .....	9
2.3 Filtrace.....	13
3 Ledviny .....	14
3.1 Anatomická stavba lidských ledvin .....	14
3.2 Fyziologie ledvin.....	15
4 RRT – mimotělní náhrady funkce ledvin .....	18
4.1 Rozdělení extrakorporálních eliminačních technik.....	18
4.1.1 Hemodialýza.....	19
4.1.2 Hemofiltrace.....	20
4.1.3 Hemodiafiltrace.....	20
4.2 Indikace nasazení RRT .....	21
4.3 Peritoneální dialýza .....	21
5 Zařízení pro úpravu vody pro hemodialýzu .....	23
5.1 Přívod vody.....	24
5.2 Zásobní nádrž na vodu .....	25
5.3 Pískové filtry .....	26
5.4 Změkčovače.....	28
5.5 Osmóza.....	29
5.6 Ohřívač .....	32
5.7 Rozvodná síť.....	33
5.8 Dialyzační monitor .....	37
6 Odpadní roztok.....	38
7 Závěr.....	39
8 Seznam použité literatury .....	40

## Seznam použitých symbolů a zkratek

$\Pi$  - pí, znak pro veličinu osmotický tlak.

c – znak pro veličinu koncentrace.

CHSK – chemická spotřeba kyslíku.

F – znak pro veličinu síla.

H – znak pro veličinu výška.

N – znak pro Newton, jednotku síly.

n – znak pro počet částic, množství.

NTU – nephelometric turbidity unit - jednotka zákalu, měřeno nefelometrem.

p – znak pro veličinu tlak.

Pt – platina, jednotka mg/l Pt, užívá se pro barvu vody.

R – znak pro univerzální plynovou konstantu.

RRT – renal replacement therapy–označení léčebných metod nahrazujících práci ledvin.

T – znak pro veličinu termodynamická teplota.

V – znak pro veličinu objem.

## 1 Úvod

Práce si klade za cíl shrnout proces úpravy vody pro hemodialýzu – permeátu. Existuje a v praxi je používáno několik různých způsobů pro čištění krve, které je možné použít při selhání ledvin. Jedná se především o hemodialýzu, peritoneální dialýzu, hemofiltraci a jejich různé modifikace a kombinace.

Práce se zabývá úpravou vody pro jednoznačně nejčastěji využívanou mimotělní očišťovací metodu – extrakorporální hemodialýzu. Při tomto postupu „čištění krve“ je nutné dovést pacientovu krev mimo tělo k polopropustné membráně, na jejíž druhou stranu je přiváděn dialyzační roztok určitých parametrů, který je připravován z předčištěné a předupravené vody, permeátu, vyráběného nejčastěji přímo v dialyzačním středisku. Právě vhodně připravený, kvalitní a sterilní dialyzační roztok a koncentrace látek v něm rozpuštěných je spolu s bezporuchovým chodem dialyzačního monitoru klíč k úspěšné terapii pacientovy choroby.

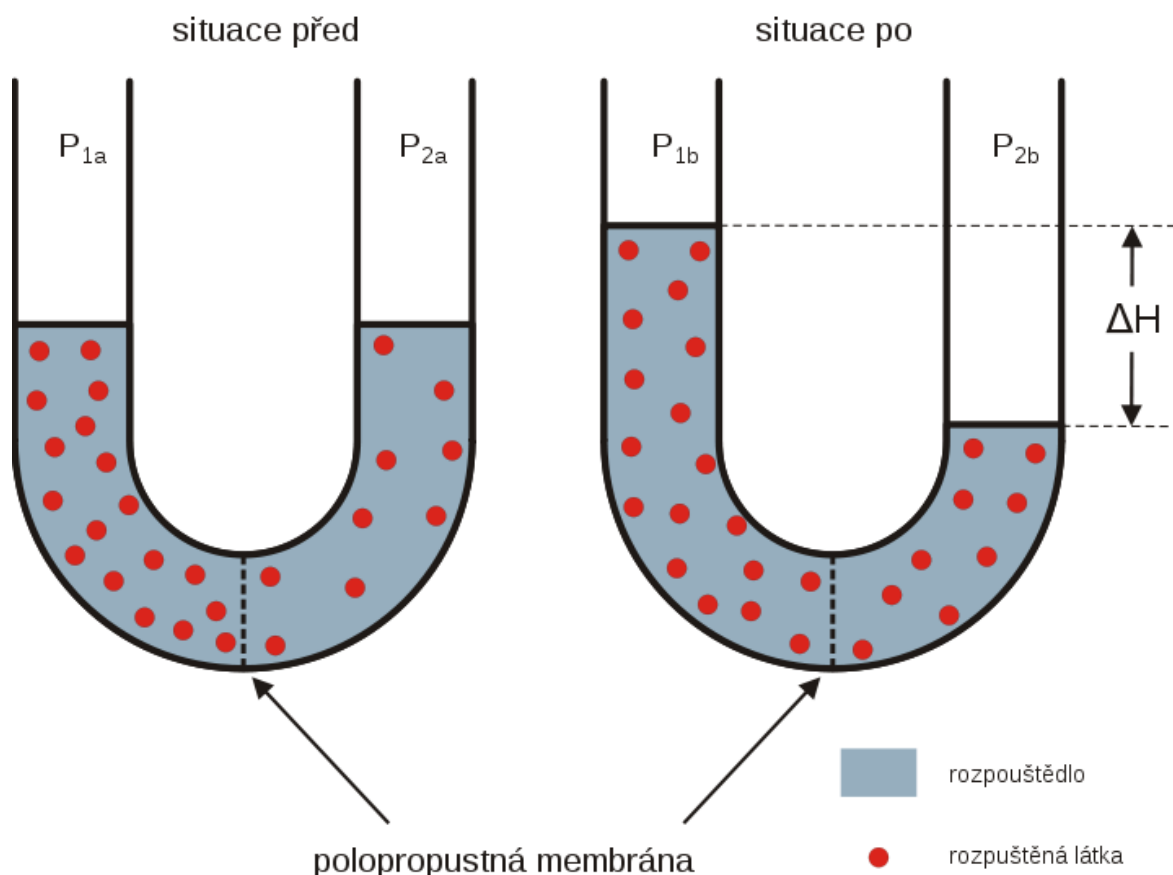
V práci, která na problém nahlíží více ze stránky úpravy vody než z pohledu ryze medicínského, je pojednáno o principu fungování zdravé ledviny, principu fungování dialyzačního monitoru a jeho příslušenství, je zde objasněna fyzikální podstata jevů osmózy, reverzní osmózy a filtrace, tedy principů fungování jak úpravny vody tak samotného dialyzačního monitoru. Převážná část práce přináší pohled na zařízení, které z vody přiváděné vodovodem vyrábí permeát – filtry, změkčovače a moduly reverzní osmózy. Neopomíjí ani zařízení pro fyzikální dezinfekci a další přídavná zařízení, která sice nejsou zařazena přímo do procesu úpravy vody, ale jejich přítomnost celý proces usnadňuje. Na závěr je v práci pojednáno o nakládání s odpadním roztokem, který při hemodialýze vzniká.

## 2 Osmóza, reverzní osmóza, filtrace

Osmóza, reverzní osmóza a filtrace tvoří podstatu mnoha přírodních i průmyslových dějů. Jednou z jejich možných aplikací je i využití pro mimotělní eliminační metody a zároveň pro postupy vedoucí k úpravě vody pro jejich provoz. V této kapitole je vysvětlen princip těchto základních fyzikálně-chemických pochodů, které jsou běžné v přírodě a našly široké uplatnění v potravinářství, průmyslu, farmacii, čištění vod i jinde.

### 2.1 Naturální osmóza

Osmóza je fyzikální děj, při kterém na styku rozpouštědla a roztoku nebo dvou různě koncentrovaných roztoků v témže rozpouštědle (viz obrázek 1, stavy na začátku a po proběhnutí osmotického děje) oddělených membránou propustnou pouze pro rozpouštědlo (nikoli rozpuštěnou látku) dojde k pronikání rozpouštědla do roztoku a tím



Obrázek 1: Stavy na začátku a po proběhnutí osmotického děje.

k jeho zředování. Lze též hovořit o jednostranné difúzi molekul rozpouštědla polopropustnou (semipermeabilní) membránou. Z termodynamického hlediska je tento pochod energeticky výhodný a probíhá tedy samovolně [3], [6].

Přechodem rozpouštědla membránou do roztoku vzniká uvnitř roztoku přetlak, který lze měřit. V uspořádání pokusu podle obrázku 1 se tento přetlak projeví posunem hladin. Vzniklý tlak se nazývá osmotický tlak a značí se  $\Pi$ . Měřením osmotického tlaku se zabývali už v 19. století Pfeffer a de Vries, kteří našli základní empirické zákonitosti:

1. tlaky pro různé látky jsou různé, pro stejnou látku jsou však úměrné její koncentraci
2. roztoky o stejné koncentraci mají při stejné teplotě stejný tlak (isotonické roztoky)
3. tlak roste lineárně s teplotou a je přímo úměrný absolutní teplotě

Tyto poznatky zobecnil a shrnul van't Hoff v rovnici analogické stavové rovnici ideálního plynu, kdy pro jeho velikost osmotického tlaku platí vztah (2.1):

$$\Pi = R \cdot T \cdot c \quad [2.1]$$

(podle objevitele nazvaná van't Hoffova rovnice),

kde  $R$  je plynová konstanta,  $T$  absolutní teplota a  $c$  koncentrace rozpuštěné látky.

Rozměr van't Hoffovy rovnice:

Stavová rovnice plynů (2.2), po rozvedení (2.3):

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad [2.2]$$

$$R = \frac{p \cdot V}{n \cdot T} = \frac{F \cdot V}{S \cdot n \cdot T} \quad \left[ \frac{N \cdot m^3}{m^2 \cdot mol \cdot K} \right] \quad [2.3]$$



Dosazení do van't Hoffovy rovnice (2.4, 2.5) :

$$\Pi = R * T * c \quad [2.4]$$

$$\Pi = c * R * T = \left[ \frac{\text{mol}}{\text{m}^3} * \frac{\text{N} * \text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{mol} * \text{K}} * \text{K} \right] \quad [2.5]$$

Po zkrácení (2.6):

$$\Pi = \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right] = [\text{Pa}] \quad [2.6]$$

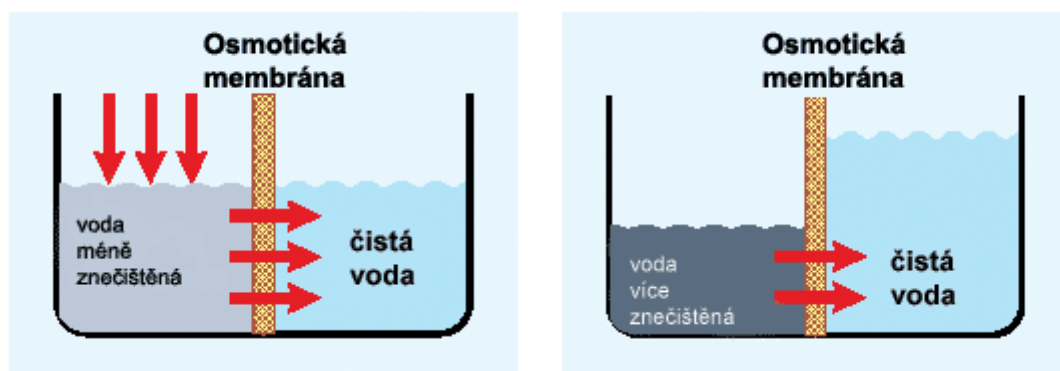
Velikost osmotického tlaku lze udávat pomocí jednotky **PASCAL (Pa)**.

Podobně jako stavová rovnice ideálního plynu platí i van't Hoffova rovnice pouze pro zředěné roztoky (asi do 0,01 M), u vyšších koncentrací se projevují odchylky a osmotický tlak je zpravidla vyšší než tlak vypočtený podle rovnice.

Osmóza je v přírodě velmi rozšířený děj a lze jej pozorovat například ve formě praskání třešní po dešti. Jiným případem je hemolýza, což je praskání červených krvinek v destilované vodě, která do nich vniká semipermeabilní obalovou blánou. Jsou-li krvinky v prostředí o vyšším osmotickém tlaku, než jaký je uvnitř krvinek, odchází z nich voda a krvinky se smršťují (např. slaná voda). Uvedené změny nenastávají, je-li okolní roztok izotonický s roztokem uvnitř buňky (pro krvinky je to 0,9% roztok chloridu sodného s osmotickým tlakem asi 600 kPa, nazývaný též Fyziologický roztok). Roztoky s vyšším osmotickým tlakem, než je uvnitř krvinek (buněk) se nazývají hypertonické, s nižším tlakem hypotonické.

## 2.2 Reverzní osmóza

Reverzní osmóza je obrácený děj k osmóze, kdy molekuly rozpouštědla přecházejí z roztoku na stranu čistého roztoku (obr. 2). Reverzní osmózou lze tedy docílit odstranění (snížení koncentrace) rozpouštěné látky z roztoku. Protože však tento děj není termodynamicky výhodný, je třeba k jeho samovolnému průběhu dodávat energii formou tlakového rozdílu.



**Obrázek 2: Reverzní osmóza.**

V praxi se setkáme s různými názvy tohoto procesu jako hyperfiltrace, ultrafiltrace: jedná se pouze o modifikace téhož fyzikálního děje, rozdíl bývá ve velikosti (molekulové hmotnosti) odstraňovaných látek. Jejich velikost je primárně určena vlastnostmi membrány.

Historicky nejstaršími polopropustnými membránami jsou zvířecí membrány, které ovšem propouštějí i rozpuštěnou látku. Později se používaly celofánové membrány (modifikovaná celulóza, acetát celulosy). Ačkoli tyto membrány měly dobré separační vlastnosti i průtokové charakteristiky, jejich nevýhodou byla nízká tepelná stabilita a malá stabilita vůči pH (rozsah 3-6), což omezovalo jejich čištění a sanitaci. Dnes jsou používány polymerní membrány syntetické (polysulfonové, polyamidové nebo polyvinylidendifluoridové) nebo okrajově celulózové (cuprofan, modifikovaná celulóza). Nejčastěji se používají polysulfonové materiály stále v široké oblasti pH s výbornou chemickou kompatibilitou a zároveň výbornou biokompatibilitou – organismus na ně nereaguje alergickými reakcemi, teplotou, zvýšenou trombogenitou ani jinými komplikacemi [6].

Pro membrány se používají tyto charakteristiky:

1. Dělicí rozsah (nejmenší molekulová hmotnost, kterou je membrána schopna zadržet, tzv. cut-off).
2. Průtočnost membrány na vodu (objem vody procházející membránou při daném tlaku a teplotě za jednotku času).
3. Rozsah povolených pracovních teplot, tlaků a pH.
4. Odolnost proti sanitárním prostředkům a chemikáliím obecně.
5. Specifický výkon (udává se pro konkrétní aplikaci a dané provozní podmínky).
6. Životnost.

V praxi je třeba mít na paměti, že póry v membráně mají určitou distribuci velikostí a že tedy separace nebude 100%. Obvykle se pro membránu garantuje, že z molekul o molekulové hmotnosti rovné dělicímu rozsahu bude zachyceno 90%. Situaci komplikuje dále skutečnost, že molekulová hmotnost a poloměr molekuly jsou svázány nelineárním vztahem: přibližně platí, že tisícinásobné zvětšení molekulové hmotnosti znamená desetinásobné zvětšení průměru (jinými slovy: změni-li se velikost pórů desetkrát, dělicí rozsah se změní tisíckrát).

V praxi se používají tzv. anizotropní membrány složené ze dvou vrstev: první je velmi tenká a má póry s požadovanou velikostí, druhá je výrazně silnější, má otevřenou houbovitou strukturu a její funkce je především podpůrná. Toto uspořádání má dvě hlavní výhody: 1) křehká ultrafiltrační vrstva je posílena silnou spodní podpůrnou vrstvou a 2) vzhledem k malé tloušťce aktivní membrány se v ní nemohou zachycovat případně krystalizovat procházející částice; naopak tím, že větší částice neprojdou horní vrstvou, nemohou tyto zanášet spodní vrstvu. Celkově jsou tedy anizotropní membrány odolnější proti zanášení pórů (tzv. fouling) a zachovávají si déle svoji průtočnost.

Reversní osmóza se nejčastěji používá pro přípravu a úpravu různě čisté vody. Velikost pórů v membráně je tedy volena podle velikostí částic vody, konkrétně hydroxoniových  $\text{H}_3\text{O}^+$  (0,135 nm) a hydroxylových  $\text{OH}^-$  (0,145 nm) iontů vzniklých disociací vody. Běžné hydratované anorganické kationty jsou srovnatelně velké nebo spíše menší

(Tabulka 1), anorganické anionty a organické molekuly jsou výrazně větší. Použití membrán s velice malými póry (maximálně 0,4 nm) dovoluje tedy při reverzní osmóze průchod pouze molekulám rozpouštědla. K průchodu rozpouštědla takto malými póry je ovšem třeba relativně vysokých tlaků v řádu jednotek MPa. Membrány pro reverzní osmózu jsou dle výrobce schopny zachytit 90-99% rozpuštěných látek.

Tabulka 1: Iontové poloměry.

Poloměr iontů	Li <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Si <sup>4+</sup>	H <sup>+</sup>
nehidratovaný	0,060	0,095	0,133	0,143	0,065	0,075	0,099	0,050	0,060	0,041	0,035
hydratovaný	-	0,38	0,26	0,27	0,32	-	0,28	-	-	-	0,135

Reverzní osmóza nachází praktické užití v řadě procesů, například:

- odsolování (výroba pitné vody z mořské, úprava vod z dolů),
- příprava velmi čisté vody (výroba polovodičů, čipů, farmaceutický průmysl),
- výroba čisté vody v potravinářství,
- úprava technologické vody (v teplárnách, elektrárnách apod.).

Ačkoli je princip reverzní osmózy ve všech aplikacích stejný, musí být celé zařízení přizpůsobeno provozním podmínkám zejména tak, aby nedošlo ke znehodnocení membrány. Proto jsou obvykle předřazeny různé mechanismy úpravy vstupní vody. Naopak v případě výroby pitné vody může být výsledný produkt dodatečně mineralizován, aby vyhovoval požadavkům na pitnou vodu [12].

## 2.3 Filtrace

Filtrace je fyzikální separační metoda, při které je z kapaliny nebo plynu odstraňována suspenze pevné látky za použití přepážky – filtru. Tekutina suspenze filtrem protéká, suspendované částice se ve filtru zachytí. Filtraci je možné rozdělit na:

- POVRCHOVOU, kdy se částice zachycují na povrchu filtru (přepážce), kde se ze zachycených látek tvoří tzv. filtrační koláč.
- HLOUBKOVOU, kdy je místo tenké filtrační přepážky použita vrstva filtrační hmoty (písek, štěrkopísek, syntetické pryskyřice, ...), která zachycuje suspendované látky a tekuté médium propustí [3], [1].

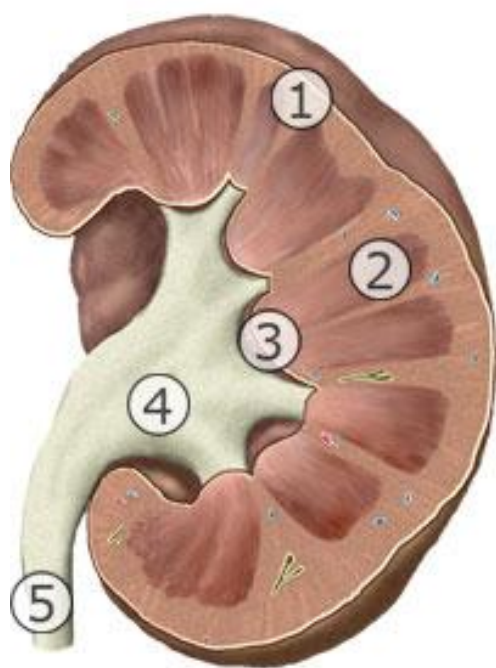
Z pohledu medicínských separačních metod je filtrace (ve zdravotnické praxi běžně nesprávně označovaná jako konvekce) separační metoda rutinně používaná od roku 1977, při které je hybatelem pochodu rozdíl tlaků působících na porézní přepážku – filtr. Podle druhu filtru jsou přefiltrovány částice s různou molekulovou hmotností. Důležitá je volba materiálu pro tvorbu filtrační membrány – měla by být zcela inertní, aby nereagovala s částicemi rozpuštěnými v roztoku.

## 3 Ledviny

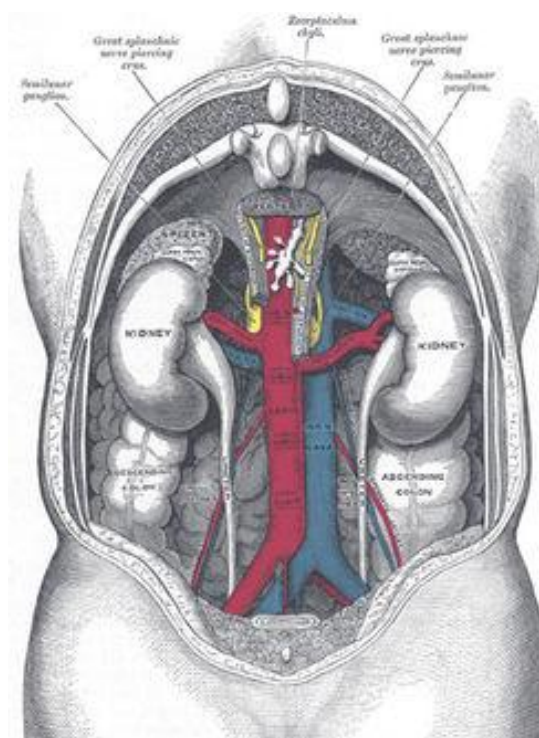
Práce pojednává o mimotělních eliminačních metodách, tedy postupech, kdy je krev pacientů čištěna přístrojem, zpravidla z důvodu nefunkčnosti ledviny. Pro správné pochopení systému čištění krve je nutné alespoň stručně přiblížit ledviny (lat. *renes*), orgán, který se hlavním podílem účastní na odstraňování odpadních látek – metabolitů – z těla.

### 3.1 Anatomická stavba lidských ledvin

Ledviny jsou párovým orgánem uloženým po obou stranách páteře zhruba ve výši 12. hrudního až 3. bederního obratle (obr. 4). Mají fazolovitý tvar. Svou konvexitou směřují ven a konkavitou k páteři, ve středu konkavity do ledviny vstupuje ledvinná tepna a vystupují zde ledvinná žíla a močovod [2], [10].



© Ivan Helekal



**Obrázek 4: Uložení ledvin v lidském těle.**

Normální ledvina dospělého člověka má přibližně následující rozměry: podélná osa 12 cm, šířka 6 cm a tloušťka 3 cm, váha jedné

**Obrázek 3: Příčný řez ledvinou.**

**1) kůra ledviny 2) dřeň ledviny 3) ledvinné pyramidy 4) ledvinná pánvička 5) močovod.**

ledviny dospělého člověka je cca 150 g.

Na příčném řezu ledvinou můžeme vidět několik charakteristických makrostruktur (viz obr. 3).

Základní funkční jednotkou ledviny je NEFRON. (Právě funkci nefronů nahrazuje při hemodialýze semipermeabilní membrána v přístroji.) V ledvinné kůře je část nefronu zvaná glomerulus - klubičko, v dření potom tubuly – různé kanálky, které se sbíhají do větších kanálků a ústí do ledvinných kalichů a pánviček. Nefronů je v každé ledvině zhruba jeden milion, po narození se už další nové nefrony nevytvářejí.

Celá ledvina je obalena ve vazivovém pouzdře a obklopena tukovým polštářem, který zde plní funkci tepelné a mechanické izolace.

### 3.2 Fyziologie ledvin

Ledviny plní v těle více funkcí: čistící, endokrinní, volumovou a další, pro potřeby této práce se zaměříme jenom na některé. Nejdůležitější pro nás bude jejich čistící, osmoregulační a pH regulační schopnost.

Tepnou, která do každé ledviny vstupuje, je přiváděna krev a s ní i metabolity a jiné látky, které jsou pro organismus přebytečné nebo nebezpečné – dusíkaté deriváty, metabolity léčiv apod. Ledviny jsou hlavním orgánem, který krev pročistí a “odpad”, tedy i přebytečné ionty a vodu, vyloučí močovodem močí ven z těla. Ledvinou žilou pak odtéká přečištěná “čistá” krev zpět do těla.

Vstupující tepna se dělí na menší a menší tepénky a přichází ke glomerulům. Glomeruly, ledvinná klubička, jsou stavěna tak, že průřez cévy před klubičkem je větší než průřez za ním, což na základě hydrodynamických a hydromechanických zákonů znamená, že v glomerulu bude vyšší tlak krve na stěny. Stěny glomerulů jsou stavěny tak, že za normálního stavu otvůrky v nich projde voda a malé v ní rozpuštěné látky, které nejsou koloidně vázány na okolní proteiny. Ve funkční ledvině tedy dochází k filtraci. Do ledvinných kanálků putuje část vody z krevní plazmy a v ní ionty a malé množství bílkovin (albumin) a proteiny s nízkou molekulovou hmotností

(mikroglobuliny). Do tubulů se přefiltruje asi jedna pětina množství vody, čtyři pětiny vody pokračují spolu s krevními elementy (červené, bílé krvinky, krevní destičky) a s v plazmě rozpuštěnými látkami s vysokou molekulovou hmotností (globuliny) a s látkami s negativním elektrickým nábojem dál odvodnou cévou.

Objem přefiltrované tekutiny v glomerulech je obrovský – během 24 hodin se ve zdravých lidských ledvinách přefiltruje více než 170 litrů tekutiny. Při objemu mimobuněčné tekutiny lidského těla cca 14 litrů to znamená, že během jednoho dne je celý objem cirkulující tělesné tekutiny ledvinami pročištěn a “zkontrolován” více než dvanáctkrát [2], [9], [10].

Takto přefiltrovaná tekutina samozřejmě není konečný odpadní produkt – moč. Jedná se o takzvaný ultrafiltrát, kterého je zhruba 173 litrů denně. Tento ultrafiltrát, obsahující hlavně vodu a v ní rozpuštěné látky (mikroglobuliny, deriváty urey, kladně nabitě ionty, hydroxoniové ionty, bikarbonát, ...), je veden tubuly, ve kterých dochází k tubulární resorpci.

Při tubulární resorpci jsou některé rozpuštěné látky z ultrafiltrátu resorbovány téměř dokonale (látky důležité pro organismus – aminokyseliny, glukóza, mikroproteiny, voda, sodík, chloridy), jiné skoro vůbec (metabolity, odpadní a přebytečné látky – močovina, kyselina močová).

Tubulární resorpce tedy zahušťuje, koncentruje primární moč – ultrafiltrát – a vzniká tak definitivní moč, která je močovými cestami odvedena pryč z těla. Intenzita tubulární resorpce je řízena několika mechanismy. Osmolalitou u vody, prostou difúzí u některých iontů a hodnotou pH nebo elektrickým nábojem u jiných. Intenzita jednotlivých membránových procesů může být řízena i hormonálně, např. na základě signalů z receptorů v různých částech těla. Zpětná resorpce některých látek vyžaduje aktivní transport, tedy dodání metabolické energie, zpětná resorpce jiných probíhá na základě přirozeného koncentračního spádu. Je zde uplatňován symport i antiport.

Do tubulů mohou být při vstřebávání antiportem vylučovány z těla i látky s vysokou molekulární hmotností (kys. paraaminohippurová (PAH), penicillin, metabolity léků, kontrastní látky), které dříve v glomerulu nebyly odděleny z tepénky (pro svou velikost, náboj,...). Díky tomuto mechanismu jsou tedy ledviny značně univerzálním



eliminačním orgánem, který má velký vliv i na hydrataci organismu a osmolalitu krevní plazmy. Látky přenesené antiportem do tubulů odcházejí močí, z tubulů zpětně resorbované látky se vrátí zpět do krevního oběhu a opustí ledviny příslušnou žilou.

Poslední důležitou schopností ledvin, která nesmí být opomenuta, je jejich důležitá schopnost ovlivňovat pH vnitřního prostředí.

Rozmezí, ve kterém se běžně pH v lidském těle pohybuje, je 7,36 – 7,44. V ledvinných buňkách je tvořena kyselina uhličitá, která je ve vodném prostředí disociována na  $H^+$  a  $HCO_3^-$ , vzniká tak tedy nejvýznamnější nárazníkový systém v organismu – pufr, ústoj, který tlumí náhlé výkyvy pH v organismu. Další možnost ledvin upravit pH je pomocí amoniaku – čpavku  $NH_3$ , který vznikne v tubulech. Při nízkém pH ledviny zvýší sekreci amonných a vodíkových iontů  $NH_4^+$  a  $H^+$  do moči a tím radikálně předchází metabolickému rozvratu. Lidská moč tak fyziologicky dosahuje hodnot pH 4,5 - 7,5.

## 4 RRT – mimotělní náhrady funkce ledvin

Při správném fungování ledvin má lidský organismus zajištěno vylučování vody a odpadních látek z krve močí, a to i při zvýšené zátěži. Vlivem traumat, zánětů, progredujících vrozených vad, otrav, působením toxinů a podobně se může lidský organismus dostat do situace, kdy jeho ledviny nebudou schopny dočasně nebo trvale plnit své funkce.

Aby se zabránilo metabolickému rozvratu a smrti pacienta, existuje několik léčebných technik, které dokáží ledviny nahradit. Souhrnně jsou tyto postupy označovány anglickou zkratkou RRT – renal replacement therapy [7], [9].

RRT jsou prováděny dle potřeby do odstranění problému v ledvinách nebo do náhrady ledvin transplantací.

### 4.1 Rozdělení extrakorporálních eliminačních technik

Extrakorporální eliminační techniky je možné na základě fyzikálně-chemických postupů rozdělit na:

- Hemodialýzu.
- Hemofiltraci.
- Hemodiafiltraci.

Všechny techniky vyžadují přívod krve od pacienta do sterilního přístroje - hemodialyzačního monitoru - pomocí sterilního systému hadic. V dialyzačním přístroji je krev některým ze způsobů očištěna, doplněna o látky, které je na základě biochemického vyšetření nutné organismu dodat, ohřáta na požadovanou teplotu, upravena na požadovanou hodnotu pH, zkontrolována detektory bublin (pacientovi se do krve nesmí dostat vzduchové bubliny) a detektory sraženin (sražení krve v hadicích a přístroji je předcházeno nejčastěji heparinizací krve nebo dočasným přidáním citrátu sodného). Takto upravená (pročištěná, obohacená o ionty, se známým pH a teplotou) a zkontrolovaná krev je systémem hadic a pump vrácena do pacientova krevního oběhu.

Provedení přístrojů se může v detailech lišit, ale obecně platí, že jeden přístroj obsluhuje vždy jednoho pacienta, hadice a separační kapsle (místo, kde dochází k hemodialýze nebo hemofiltraci) jsou jednorázové a každý pacient dostane novou, sterilní sadu. Průtok krve přístrojem bývá nejméně 300 ml/min, terapie trvá dle potřeby od 4 hodin třikrát v týdnu (chronický dialyzační program v dialyzačních střediscích) až po nepřetržité čištění u lůžek na intenzivních odděleních (např. při akutních otravách některými látkami) [4], [5], [7].

### 4.1.1 Hemodialýza

Hemodialýza je nejstarším a dodnes nejvíce používaným způsobem mimotělního čištění krve, který byl na člověku použit poprvé v roce 1943 v USA, v ČSR v roce 1955. Nahrazuje funkce ledvin tím, že krev

očisťuje od některých (škodlivých) látek. Využívá k tomu polopropustnou membránu, jejíž póry propouštějí soluty do určité molekulové hmotnosti a nepropouštějí krevní elementy – princip osmózy, difúze a z malé části filtrace. Na druhou stranu polopropustné membrány je přiváděn dialyzační roztok, který je dostupný v komerčně vyráběných sterilních infuzních vacích a nebo si jej v naprosté většině případů dialyzační střediska vyrábějí sama z předčištěné vody - permeátu a koncentrátů minerálů, bikarbonátu a glukózy. Samotná dialyzační membrána je nejčastěji uložena v “kapsli”, ve které je krev vedena v kapilárách a dialyzační roztok kapslí proti směru toku krve. Některé látky mohou být při hemodialýze eliminovány přímo adsorbci na membránu, což ale snižuje její životnost.



**Obrázek 5: Hemodialyzační monitor.**

Hemodialýza je ze zde uváděných eliminačních technik finančně nejméně nákladná a je jednoznačně nejběžněji užívanou metodou.

### **4.1.2 Hemofiltrace**

Impuls k vývoji hemofiltrace byl dán především faktem, že dialýza funguje na principu difúze, zatímco ledvina je založena na principu filtrace. Filtrace je tedy process fyziologičtější. Jsou používány vysokopropustné filtrační membrány (high-flux) s podstatně většími póry než při hemodialýze. Odfiltruje se voda a některé rozpuštěné látky, ztráta vody musí být hrazena substitučním roztokem (složením velmi podobný extracelulární tekutině a dialyzačnímu roztoku), který je dodáván zpět do krve a do pacientova krevního oběhu.

Pro hemofiltraci se jako filtr používá tzv. “high-flux” membrána, tedy vysokopropustná, která je schopna oddělit částice s větší molekulovou hmotností než hemodialýza.

Substituční roztok pro hemofiltraci je vyráběn přímo v hemofiltračním přístroji z permeátu a koncentrátu minerálů a náravníků.

I přes snahu snížit náklady na hemofiltraci výrobou substitučních roztoků z koncentrátů jsou náklady díky ceně jednorázových filtračních membrán vyšší, než při použití hemodialýzy.

### **4.1.3 Hemodiafiltrace**

Díky větším pórům ve filtru při hemofiltraci než v membráně u hemodialýzy dochází při hemofiltraci k účinnému odstranění větších molekul, ale molekuly s nízkou molekulovou hmotností se odstraňují méně účinně. Proto byla vyvinuta hemodiafiltrace, která je kombinací hemodialýzy a hemofiltrace.

Je to tedy přinejmenším teoreticky nejúčinnější metoda mimotělního čištění krve, protože při dialyzační části se odstraní na polopropustné membráně malé soluty a následně jsou ve filtrační části odstraněny rozpuštěné látky s vysokou molekulovou hmotností.

Nevýhodou je vysoká cena filtračních membrán, které jsou nezbytnou jednorázovou složkou systému a velká spotřeba substitučních roztoků. I při výrobě substitučních roztoků z koncentrátů je hemodiafiltrace nákladnější než hemodialýza.

### **4.2 Indikace nasazení RRT**

O indikaci k použití některé z mimotělních technik čištění krve rozhoduje lékař na základě klinického stavu pacienta, výsledků diagnostických vyšetření a laboratorních hodnot krve. Dialýza je následně prováděna v dialyzačních střediscích, u lůžka pacienta nebo u pacienta doma v případě peritoneální dialýzy, při které pacient postupuje podle doporučení lékaře.

V České republice je dialyzační léčba plně hrazena z veřejného zdravotního pojištění.

### **4.3 Peritoneální dialýza**

Peritoneální dialýza je další metodou, která je používána jako náhrada ledvinných funkcí, nelze ji však řadit mezi mimotělní eliminační techniky. Přestože se peritoneální dialýza této práce týká jenom okrajově, je vhodné stručně popsat její princip.

Jako semipermeabilní membrána u peritoneální dialýzy slouží peritoneum – tedy vazivová blána, kterou má každý člověk mezi orgány břišní dutiny a podkožní tukovou vrstvou břicha. Dialyzační roztok je přiveden speciálním vstupem – portem – v oblasti pupku do prostoru mezi tuk a peritoneum a ponechán v dutině po předepsanou dobu. Určité látky přejdou přes membránu do dialyzačního roztoku a následně jsou portem vypuštěny ven do sběrného vaku.

Nejedná se tedy o klasickou mimotělní eliminační metodu, protože celý proces se odehrává v lidském těle – pod kůží na hranici dutiny břišní. Princip i provádění peritoneální dialýzy je poměrně jednoduchý, největší riziko je vstup infekce portem k dutině břišní.

Pacienti s tímto režimem léčby jsou dostatečně proškoleni a peritoneální dialýzu si provádí několikrát denně doma nebo v zaměstnání samostatně, do zdravotnického zařízení docházejí pouze na pravidelné kontroly a v případě komplikací – nejčastěji problém s portem [10].

## 5 Zařízení pro úpravu vody pro hemodialýzu

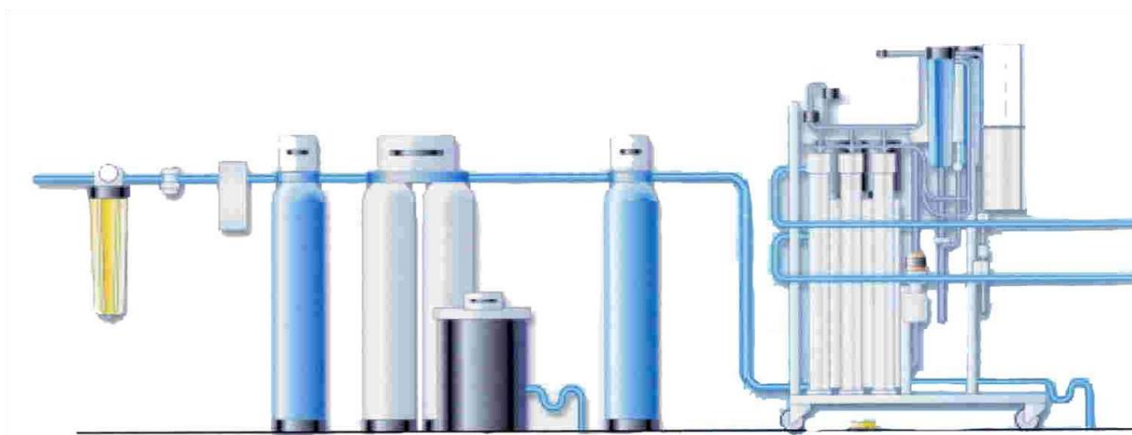
Potřeba vody pro provoz dialyzačních středisek je velká. Zhruba se dá říci, že na provoz jednoho dialyzačního přístroje – dialyzačního monitoru – je potřeba více než 30 l vody na hodinu. To znamená nutnost upravit více než 600 litrů vody pro dvacetilůžkové středisko během jediné hodiny běžného provozu. Kvalita upravené vody - permeátu musí být perfektní – přijde do styku přímo s krví pacientů, obejde všechny přirozené ochranné mechanismy lidského těla.

Soustavy zařízení pro úpravu vody (obr. 6, 7) v dialyzačních střediscích jsou dodávány jako stavebnicové sady, které se podle velikosti provozu vybavují potřebným množstvím jednotlivých prvků podle požadované kapacity.



**Obrázek 7: Úpravna vody pro dialýzu.**

Provedení aparatur je v kombinaci nerezové oceli a biologicky inertních plastů, elektrické rozvody výrobce garantuje jako vodotěsné [5].



**Obrázek 6: Schéma úpravy vody. Vlevo vtok, jednotlivé komponenty přiblížené blíže v následujícím textu, vpravo modul reverzní osmózy a vstup a výstup permeátu do a z patientského okruhu.**

V současné době se dá říci, že se celosvětově vyprofilovala jediná firma, která dodává svá zařízení do všech kontinentů. V České republice tvoří zařízení této firmy téměř monopol a úpravny vod (především samotný modul reverzní osmózy) v dialyzačních střediscích jsou v naší republice velmi podobné, liší se především kapacitou. V této kapitole jsou obecně popsány jednotlivé prvky zařízení. Každé dialyzační středisko bylo vybavováno v jiné době a konkrétní modely zařízení se mohou v provedení mírně lišit, stejně jako některá zařízení mohou zcela chybět (filtry s aktivním uhlím se již nově nepoužívají), princip je ale vždy stejný. Hlavní úprava vody spočívá v reverzní osmóze, ostatní zařízení slouží k předpřípravě vody pro reverzní osmózu.

### 5.1 Přívod vody

Pro provoz dialýzy je potřebné značné množství vody. Studená voda pro celý systém je přiváděna z běžné (nemocniční) vodovodní sítě, tedy zpravidla v kovové trubce. Teplá voda není potřeba. Parametry této vody jsou totožné s běžnou pitnou vodou v daném městě (Tabulka 2).

Jako první bývá řazen uzavěr (ventil) přiváděné vody. Od tohoto místa je za okruh zodpovědný technik daného dialyzačního střediska.

Dalším zařízením v blízkosti přívodu vody je měřidlo průtoku vody.

Kvalita vody na

přítoku by měla být totožná s kvalitou, kterou garantuje její dodavatel, tedy zpravidla městské vodárny.

Tabulka 2: Vybrané parametry vody dodávané do rozvodné sítě v jednom z dialyzačních středisek ke 31. 10. 2009 [11].

ukazatel	Jednotky	hygienický limit	distribuční síť
<b>Chemický</b>			
Barva	mg/l Pt	20	< 5
Zákal	NTU	5	0,57
reakce vody (pH)		6,5 - 9,5	8,04
CHSK <sub>Mn</sub>	mg/l	3	0,60
amonné ionty	mg/l	0,5	< 0,05
Dusičnany	mg/l	50	11,3
Tvrdost	mmol/l	2 - 3,5 (dopor.h.)	1,25
Hliník	mg/l	0,2	0,002
Železo	mg/l	0,2	0,05
<b>mikrobiologický</b>			
Escherichia coli	KTJ/100 ml	0	0
koliformní bakterie	KTJ/100 ml	0	0



V místnosti, ve které se úpravná vody nachází, bývají na zemi čidla, která automaticky zavřou přítok vody do systému při úniku vody na podlahu (obr. 8) [5].

**Obrázek 8: Čidlo úniku vody ze systému.**



### 5.2 Zásobní nádrž na vodu

Do přívodné části systému je ještě před filtry obvykle řazena nádrž na vodu. Jejím smyslem je vyrovnávat poptávku po vodě při náhlých změnách poptávaného množství.

Standardně se dodává v polyetylenovém provedení s kapacitou 800 litrů vody, prázdná váží zhruba 95 kg. Je vybavena bezpečnostním přepadem. Voda do nádrže přitéká otvorem v horní části, voda se různě dlouhou dobu zdrží a ode dna je nasávána dvěma sériově řazenými čerpadly, které ji čerpají pod tlakem zhruba 0,3 MPa do potrubí k pískovým filtrům.

Čerpadla standardně dodávaná výrobcem dokáží přečerpat až 3 300 l za hodinu, jsou vybavena



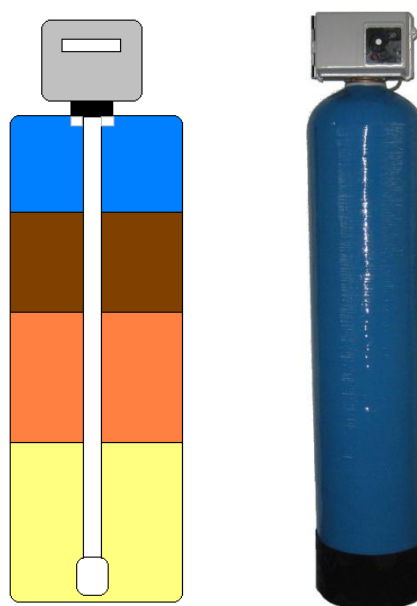
**Obrázek 9: Zásobní nádrž na vodu.**

pojistkou proti chodu na sucho a tlakovou pojistkou, jsou poháněna elektromotory. Spínají se automaticky při poklesu tlaku v potrubí.

Mezi hladinou vody v nádrži a odnímatelným poklopem je běžně vzduch, vodní nádrž je tedy místem potencionálního vstupu mikrobiálních agens a nečistot do vody. Bohužel se zatím uspokojivě nepodařilo najít vhodnější způsob, jak eliminovat poptávku po vodě při náhlých změnách odběru.

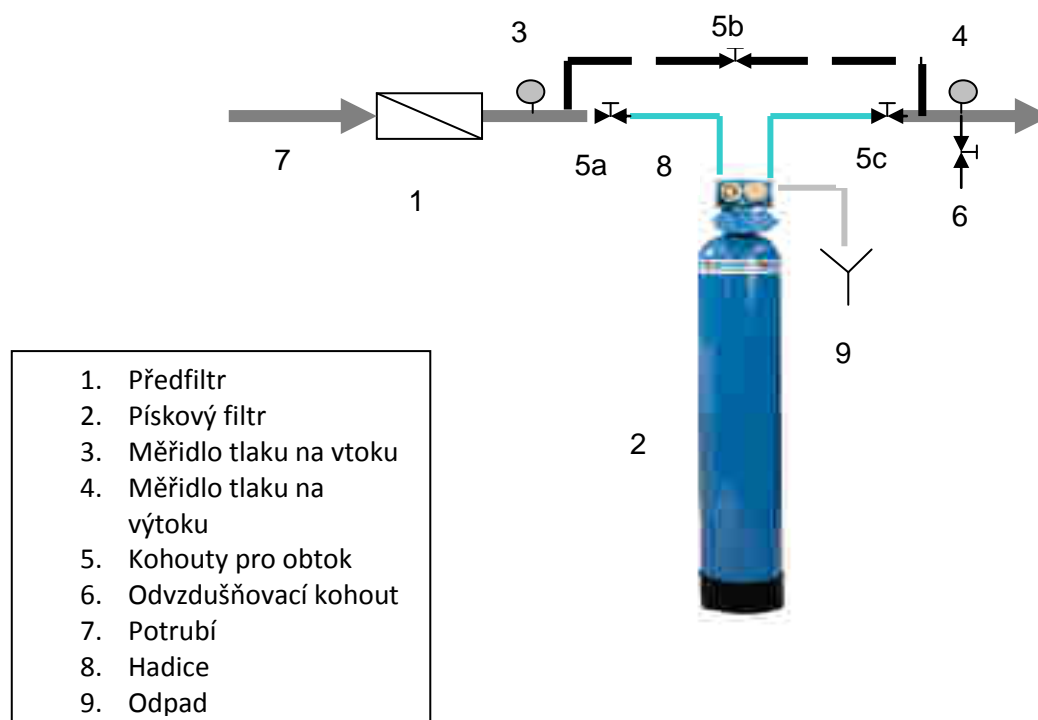
### 5.3 Pískové filtry

Pískové filtry (obr. 10) jsou další komponentou soustavy. Jsou projektovány tak, aby bezpečně odstranily částice s průměrem větším než 75 mikrometrů (tedy zdaleka ne všechny látky, které musí být během úpravy vody v permeát odstraněny) a zároveň tak, aby se v nich filtrovaná voda nezdržovala příliš dlouho a nevznikala tím šance potencionálně přítomným mikroorganismům vytvořit biofilm. Do soustav se zpravidla instalují dva filtry v sériovém zapojení, případně jeden je používán a druhý prán [4], [5].



**Obrázek 10: Pískový filtr, celkový pohled a řez.**

Filtr se skládá z řídicí hlavičky a sklolaminátové nádoby vyplněné filtračním médiem – pískem. Řídicí hlavičky je vybavena ventilem pro odvzdušnění, ventilem pro průchod vody mimo filtr a ventilem pro zpětný chod, které jsou používány při praní filtru. Četnost a délka praní je nastavována na řídicí jednotce podle místních podmínek, praní je prováděno pouze vodou. Celá filtrační náplň se vyměňuje v dvouročních intervalech. Průtok vody přes filtry je řízen poptávkou po vodě. Provozní tlak pískových filtrů používaných pro výrobu permeátu je 0,2 – 0,85 MPa. Filtrační kapacita používaných filtrů je cca 8 m<sup>3</sup>/h. Filtry je nutné dle harmonogramu odvzdušňovat, bubliny plynu jsou pro jejich chod nežádoucí a mohou podporovat růst mikroorganismů.



Obsah filtru se v různých částech různí (viz. obr. 10): Modře volný prostor vyplněný vodou, hnědě jemný písek se zrnem o velikosti 0,4 – 0,8 mm, růžově písek o zrnitosti 2,0 – 3,2 mm, žlutě hrubší písek se zrnem 3,2 – 5,6 mm. Celkový obsah písku je 135 litrů v každém filtru.

Za pískové filtry byly v minulosti někdy instalovaly **filtry s aktivním uhlím**. V současnosti se od tohoto trendu ustupuje pro převažující negativa – místo častého bujení biofilmu a tedy potenciálního ohniska pro tvorbu patogenů v upravované vodě, dále pro nutnost výměny aktivní náplně dvakrát až třikrát ročně, což zvyšovalo náklady na provoz a znamenalo nutnost vždy rozpojit armatury. Další nežádoucí vlastností filtru s aktivním uhlím je odstraňování rozpuštěného chloru, čímž se voda za filtrem stává neošetřenou proti růstu biologických agens.

### 5.4 Změkčovače

Přestože dodavatel technologie i odborná zdravotnická literatura hovoří o změkčovačích, jedná se o iontoměniče - katexy. Do aparatury jsou řazeny mezi pískové filtry a reverzní osmózu. Jejich význam je především ve snížení obsahu iontů (kationtů) hořčíku a vápníku, které díky své velikosti projdou membránou reverzní osmózy a jejich zvýšená přítomnost v roztoku přiváděném k dialyzačním monitorům je nežádoucí. Dále mají negativní vliv na membránu reverzní osmózy, protože se v ní usazují, čímž ji znehodnocují.



**Obrázek 11:**  
**Změkčovače.**

Iontoměniče se skládají z hlavice, páru sklolaminátových nádrží a zásobníku na sůl. Hlavice je vybavena elektronikou, čidlem analyzujícím kvalitu vody na přítoku i odtoku, čerpadly pro dosažení potřebného pracovního tlaku (0,6 MPa) a pro regeneraci, dále ventilem pro odvzdušňování a ventilem pro volbu používání vždy té z nádrží, která se právě neregeneruje. Sklolaminátové nádrže jsou vyplněny inertní syntetickou pryskyřicí (polyester) se zrnky o velikosti cca 0,4 mm. Jedná se o katexy – vápenaté (a hořečnaté) ionty přítomné ve vodě jsou

“vyměňovány” za sodné ionty, které jsou dodávány v podobě kamenné soli (NaCl). Sůl si změkčovače pomocí sací pumpy dopravují ze zásobníku do nádoby, ve které ji rozpustí a následně ji používají ke své regeneraci.

**Stechiometrie reakce probíhající ve změkčovači:**  $\text{Ca}^{2+} \rightarrow 2 \text{Na}^{+}$  **[5.1]**

Podle této stechiometrie je tedy “změkčená” voda bohatší na ionty a její elektrická vodivost je vyšší (5.1). Na tomto principu je založena schopnost změkčovače rozpoznat kvalitu procesu – dvě čidla a řídicí jednotka. Pomocí ventilu se na základě pokynu od řídicí jednotky na odtoku upraví rychlost průtoku upravované vody změkčovačem nebo je voda vedena přes druhou, regenerovanou nádobu. Regenerace změkčovačů je prováděna protisměrným průchodem roztoku solanky pryskyřicí, na jeden regenerační

cyklus se pak spotřebuje až 20 kg soli. Negativní vlastností změkčovačů je poměrně častá přítomnost vzniku biofilmů přisedlých organismů [1], [4], [7].

### 5.5 Osmóza

Reverzní osmóza (obr. 12, 13) je nejvýkonnější a nejekonomičtější způsob výroby dialyzačního roztoku. Samotný přístroj – modul reverzní osmózy, je nejcitlivější a nejdražší částí aparatury. Zde probíhá tvorba permeátu – vody s téměř nulovým zastoupením jakýchkoliv cizorodých částic a látek, vody s co nejnížší elektrickou vodivostí.

Modul reverzní osmózy je vybaven



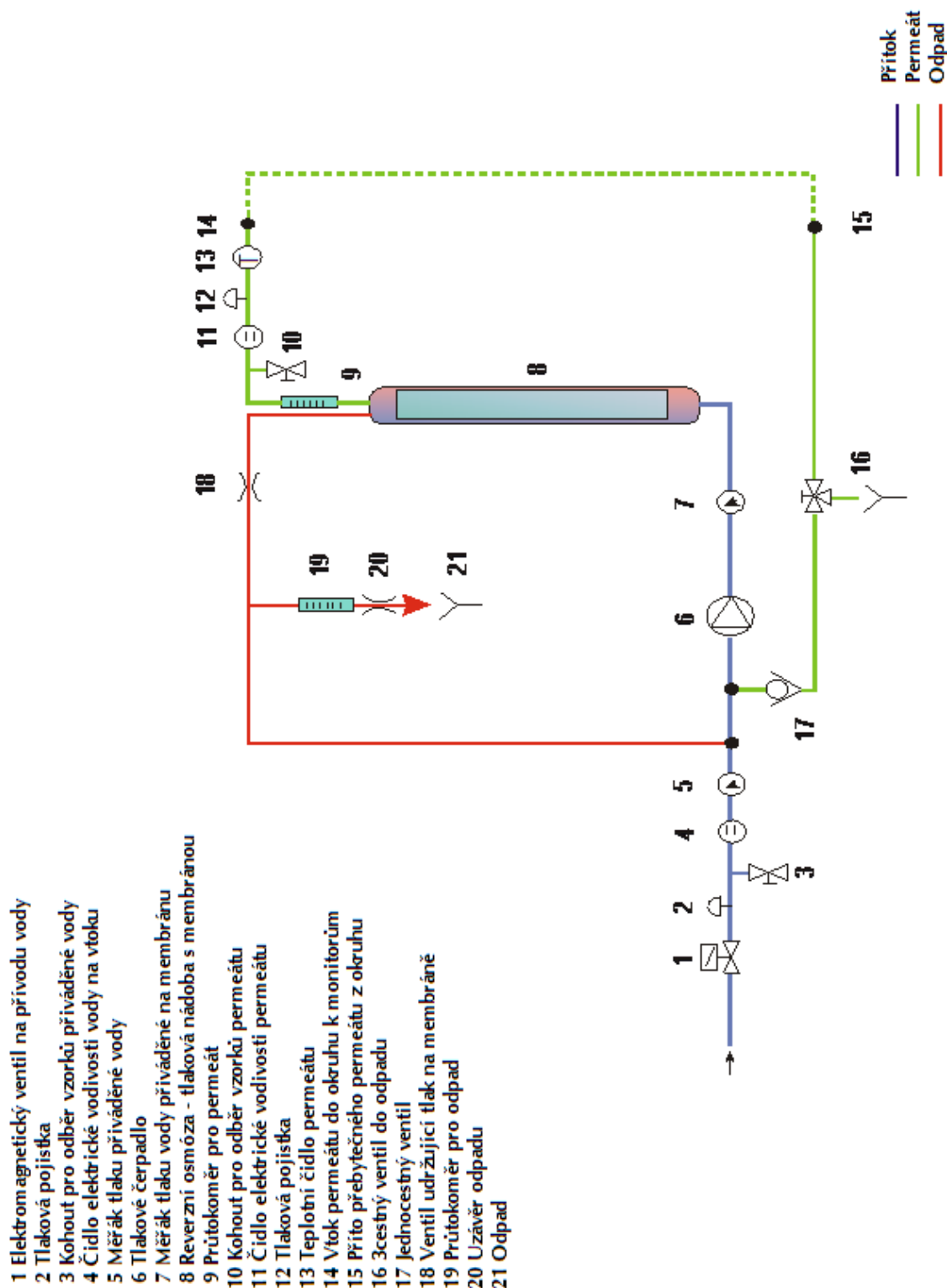
**Obrázek 12: Modul reverzní osmózy zepředu.**

vlastním počítačem, který pomocí čidel (viz obr. 14) vyhodnocuje vstupní a výstupní tlak a další parametry. Samotné kolony s membránami pro reverzní osmózu jsou v přístroji vždy 4 a podle kvality vody jsou řídicí jednotkou automaticky řazeny do sériového nebo sérioparalelního zapojení. Kvalitu vody přístroj posuzuje podle vodivosti, kterou měří. Zjednodušeně platí, že čím nižší vodivost vzorek má, tím kvalitněji byl upraven (záleží především na podílu permeátu, který se vrátil z permeátového



**Obrázek 13: Modul reverzní osmózy zezadu.**

okruhu a je recyklován). Dále přístroj měří teplotu vody a je schopen “se prohřát” v případě, kdy klesla poptávka po přečištěné vodě a vzrůstá riziko bujení potenciálně přítomných mikroorganismů.



Obrázek 14: Schéma zapojení základních částí modulu reverzní osmózy.



Předupravená voda je nejprve vedena na filtr, který má ochránit membrány reverzní osmózy před zanesením. Následuje průchod čidly a čerpadlem, které zajišťuje potřebný osmotický tlak – 0,4 MPa. Koncentrát je odváděn do odpadu a permeát vstupuje do permeátového (pacientského) okruhu.

Membrána je nejčastěji používána polysulfonylová, velikost pórů v osmotické membráně je obvykle 0,4 nm. Účinná plocha každé používané membrány je 8,2 m<sup>2</sup>. Výrobce udává zabránění průchodu pro 99,9% heterogenních částic, které byly přítomny ve vodě v rozvodné síti a které se nezachytily na předřazených filtrech - bakterie (typicky koliformní bakterie o velikosti 0,5 – 10 mikrometrů a Gramm negativní bakterie produkující endotoxiny  $\approx$  pyrogeny), viry a retroviry (20 a více nm) a endotoxiny, dále houby, částice organické a anorganické hmoty, které nebyly zachyceny předchozími pískovými filtry. Výrobce garantuje odolnost membrány při vystavení teplotě 95°C a některým chemickým desinfekčním prostředkům (Tabulka 3).

Tabulka 3: Výrobce doporučené postupy dezinfekce osmotických membrán [4], [5].

MATERIÁL MEMBRÁNY	FORMALDEHYD	KYS. OCTOVÁ	CHLOR. PREPARÁTY
Polyamidová vlákna	1 %	NE	NE
Polyamidové spirály	1 %	do 0,03 %	NE
Celulóza-triacetát	1 %	do 0,03 %	ANO

Přístroj je vybaven malou zásobní nádrží (podle typu nejčastěji 40 - 80 litrů) s upravenou vodou, která pomáhá zvládat náhlé změny v poptávce po permeátu - upravené vodě. Hmotnost přístroje bez vody je 280 kg, použitý material je nerezová ocel a biologicky inertní plast.

Jeden běžný modul reverzní osmózy upraví až 1750 l vody za hodinu. Při běžném provozu úprava probíhá tak, že 70 % přiváděné předupravené vody je přeměněno na permeát a 30 % odchází jako koncentrát do odpadního potrubí. Současný trend směřuje k výrobě pouze jednoho modulu o jedné velikosti a poptávku po vyšším objemu permeátu řešit paralelním zařazením více modulů v paralelním zapojení.

### 5.6 Ohřívač

Ohřívač neslouží přímo k úpravě vody nebo výrobě permeátu. Zapíná se pouze v době, kdy se provádí sanitace celého systému. Slouží k ohřátí potrubí a hadic rozvodné sítě mezi reverzní osmózou a dialyzačními monitory a následně zajišťuje cirkulaci horké vody v okruhu.

Tento způsob fyzikální dezinfekce probíhá podle dezinfekčního řádu buďto 3 hodiny každou noc v zařízeních bez nočního provozu nebo jednou za 2 – 3 dny v zařízeních s nepřetržitým provozem (po dobu cirkulace horkého permeátu má dialyzační středisko odstávku). Pro možnost co nejvíce zkrátit dobu odstávky je ohřívač vybaven i chlazením. Přístroj se spouští a vypíná automaticky podle předchozího naprogramování, nevyžaduje přítomnost obsluhy. Maximální délka patientského okruhu na jeden ohřívač je výrobcem stanovena na 150 m.



Obrázek 15: Ohřívač.

Při provádění fyzikální dezinfekce horkou vodou se permeát v okruhu ohřívá na 86°C. Dojde k narušení tvorby biofilmu a ke zhoršení podmínek pro přežívání mikroorganismů. Endotoxiny jsou vůči této metodě inertní (spoléhá se na jejich odstranění reverzní osmózou a na to, že permeát je v okruhu tak krátce, že se endotoxiny nestihnou vytvořit).

Hlavní výhodou tohoto způsobu fyzikální dezinfekce před chemickou spočívá v tom, že se do okruhu nedostávají žádné další, pro pacienty toxické látky, a není tedy nutné po ukončení dezinfekce okruh rozpojovat, vypouštět nebo proplachovat [5].

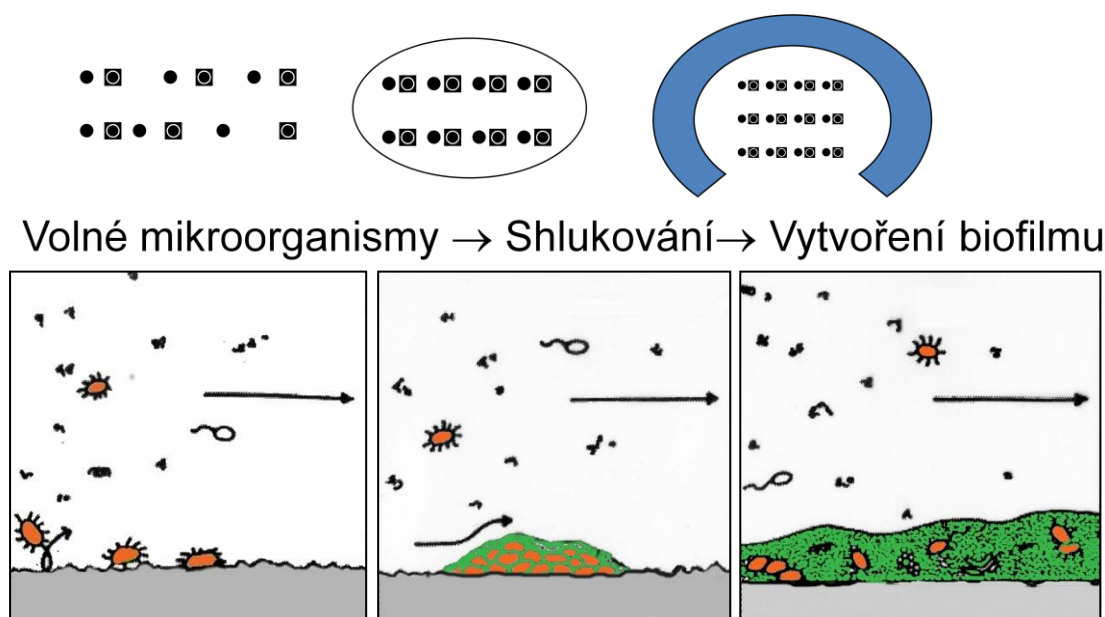


## 5.7 Rozvodná síť

Rozvodná síť přivádí permeát od modulu reverzní osmózy k patientským dialyzačním monitorům. Je tvořena biologicky inaktivními trubkami a hadicemi, zpravidla plastovými. Není zde řazen žádný zásobní tank s permeátem a rozvodná síť je projektována v co nejkratším možném provedení, bez ostrých ohybů a s co nejmenším počtem slepých odboček. Spoje a těsnění rozvodné sítě by měly být těsné a pravidelně kontrolovány.

V okruhu je voda, která se dostává do bezprostředního kontaktu s krví pacientů. Bakterie při dlouhém stání ve stojaté vodě produkují glykokalyx, polysacharid usnadňující jim přichycení se na povrchu potrubí. Je tedy nutné v okruhu udržovat pomocí čerpadla (obr. 18) stálý průtok permeátu, aby se zamezilo jakémukoli rozvoji mikroorganismů a vzniku biofilmu.

Biofilm vzniká postupnou kumulací a agregací jednotlivých mikroorganismů a následně jejich uchycením k podložce (= stěně trubky, viz obr. 16). Mikroorganismy tvořící biofilm jsou v systému naprosto nežádoucí, jsou poměrně rezistentní k dezinfekčním metodám a při přítomnosti v permeátu mohou způsobit vážné zdravotní komplikace až smrt dialyzovaného pacienta.



Obrázek 16: Schéma vzniku biofilmu.

Je evidentní, že je nutné přísně kontrolovat přítomnost mikrobiálních agens v patientském okruhu i v celém systému. Kontrolu provádí jednak namátkově Státní zdravotní ústav (dříve krajské hygienické stanice) a jednak pracovník obsluhy úpravny dle doporučení výrobce. Pro kontrolu kvality činnosti celého systému se odebírají vzorky zpravidla na těchto místech:

- Vstupující voda “z kohoutku”.
- Voda vstupující do modulu reverzní osmózy.
- Permeát na výstupu z modulu reverzní osmózy.
- Permeát na vstupu do dialyzačního monitoru.
- Odpadní roztok na výstupu z dialyzačního monitoru při chodu na prázdno.

Pro odběr vzorků slouží speciální set dodávaný výrobcem (obr. 17), rozbor se provádí v běžné biochemické laboratoři [5].

### Set pro odběr vzorků



T spojka pro napojení odběrového setu mezi armatury

Sterilní, biologicky inertní odběrový vak

Obrázek 17: Odběrový set.



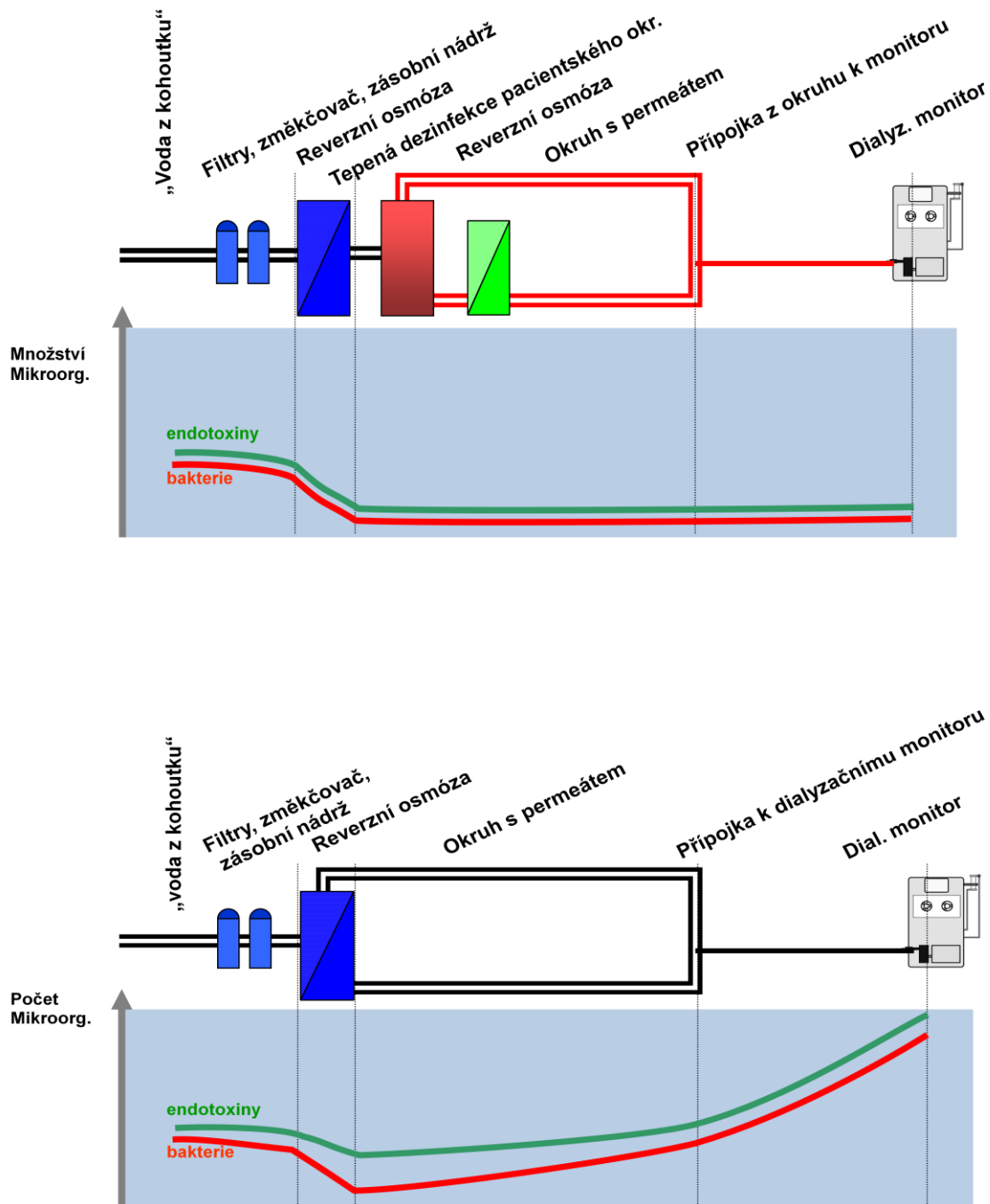
**Obrázek 18: Čerpadlo s ohřívačem  
v patientském okruhu.**

Pro odstranění již vzniklého biofilmu je nutná dlouhodobá odstávka celého systému, výměna těsnění a důkladná dezinfekce. Fyzikální složka dezinfekce je zajišťována horkou vodou z ohřívače (jednak samostatného ohřívače, obr. 15 a také z ohřívače vestavěného v oběhovém čerpadle patientského okruhu, obr. 18). Chemická složka dezinfekce spočívá v dávkování dezinfekčních roztoků kyseliny octové, chlornanů a hydroxidu sodného. Po provedení chemické dezinfekce je na rozdíl od fyzikální dezinfekce nutné celý okruh rozpojit,

důkladně propláchnout a zkontrolovat těsnost vyměněných těsnících a spojovacích dílů.

V extrémních případech, kdy se ani důkladnou chemickou a fyzikální dezinfekcí nepodařilo biofilm odstranit, je nutná výměna všech hadic a vyměnitelných částí okruhu za nové [4], [5], [7].

Pro srovnání je na obrázku 19 patrné, jak se liší počet mikroorganismů (endotoxinů a bakterií) při pravidelném používání fyzikální dezinfekce patientského okruhu (horní obrázek) a bez pravidelného prohřívání (spodní obrázek) [5].

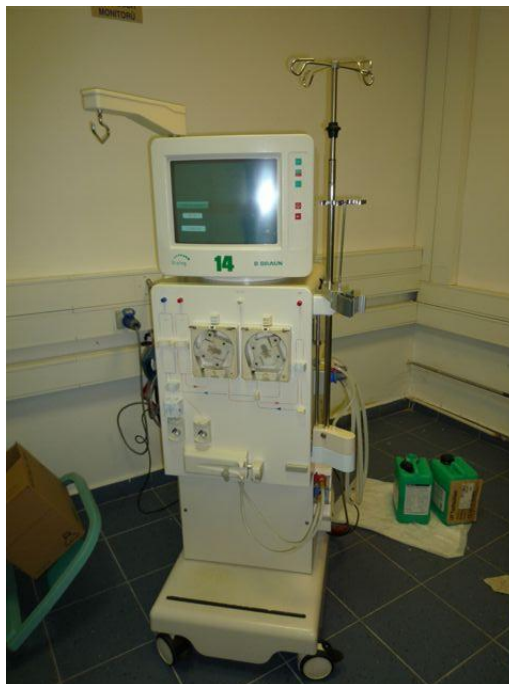


Obrázek 19: Srovnání mikroorganismů v systému při použití tepelné dezinfekce a bez ní [5].

### 5.8 Dialyzační monitor

Dialyzační monitor je vlastní přístroj, ve kterém dochází k očištění krve. Je přezdíván jako umělá ledvina, protože právě náhrada ledvinných funkcí je jeho úkolem. Podle typu je schopen provádět hemodialýzu, hemofiltraci nebo hemodiafiltraci.

Detailní popis konstrukce dialyzačního monitoru a všech jeho funkcí značně přesahuje rozsah této práce. Omezíme se zde na to, že “funkčním jádrem” celého přístroje je jednorázová polysulfonová dialyzační kapilára (kapsle) se čtyřmi hadicovými vstupy, které dialyzační monitor svou činností ovlivňuje následovně [7], [10]:



**Obrázek 20: Dialyzační monitor při běžném dezinfikování po použití.**

1. Přívod “špinavé” krve od pacienta – je zde přidáváno antikoagulační činidlo – heparin, kontroluje se tlak, průtok, teplota...
2. Odvod “čisté” krve do pacienta, odstraňuje se antikoagulační činidlo, hlídá se teplota krve a přítomnost vzduchových bublin, udržuje se tlak pro membránový proces, ...
3. Přívod “čistého” permeátu – permeát ze systému úpravy vody, o kterém pojednává tato práce. Permeát je ohříván na teplotu krve, obohacován o glukózu a ionty dle indikace lékaře, je udržován potřebný tlak pro membránový proces.
4. Odvod “špinavého” permeátu do odpadu, je udržován potřebný tlak pro membránový proces, řešeno jednocestnými ventily proti průchodu znečištění z odpadního potrubí zpět do přístroje.

### 6 Odpadní roztok

Po provedení výše uvedených očišťovacích metod vzniká poměrně velké množství odpadního roztoku – přibližně 90 - 360 litrů na jednoho pacienta v závislosti na druhu metody a délce trvání terapie [9].

Tento vodný roztok obsahuje rozpuštěné ionty (hlavně  $H^+$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$ , ...) a odpadní látky, kvůli kterým se očišťovací metody provádějí - především urea, patologické antigeny, zbytky léčiv, ale i pro život potřebné látky, jako některé vitaminy, které projdou přes dialyzační membránu. Teplota odpadního roztoku po výstupu z dialyzačního monitoru je  $36^{\circ}C$  a neobsahuje mikrobiální agens.

Odpadní roztok je odváděn do běžné kanalizační sítě, není speciálně čištěn nebo upravován.

## 7 Závěr

Práce si klade za cíl popsat metody úpravy vody pro hemodialýzu, tedy permeátu, a stručně přiblížit technickou stránku problematiky umělého očišťování krve, které je hojně využíváno při dysfunkci ledvin.

V první, teoretické části práce, je popsána anatomická stavba lidské ledviny, podstata její činnosti a dále fyzikální podstata membránových procesů, difúze, osmózy, revezní osmózy a filtrace. Je zde popsána problematika semipermeabilních membrán, jejich rozčlenění, druhy a funkce. První část dále přináší přehled nejčastěji používaných mimotělních očišťovacích metod, tedy hemodialýzy, hemofiltrace a hemodiafiltrace.

Druhá část práce objasňuje význam a chemicko-fyzikální podstatu jednotlivých komponent v procesu výroby permeátu. Seznamuje s funkcí pískových filtrů, s podstatou dějů probíhajících v iontoměničích – změkčovačích, podrobně popisuje nejpodstatnější článek úpravy vody – reverzní osmózu, která je při své správné funkci schopna propustit pouze permeát bez nečistot, mikrobiálních agens a pyrogenů. Dále je zde vysvětlen význam ohřívače permeátu, systém rozvodů permeátu po dialyzačním středisku a podstata činnosti dialyzačního monitoru, tedy přístroje, který je schopen čistit krev pacientům.

V neposlední řadě jsou v práci vysvětleny základní způsoby dezinfekce jednotlivých částí systému i celého patientského okruhu, je zde přiblížen mechanismus vzniku krajně nežádoucího biofilmu na různých místech v procesu úpravy vody a následně je nastíněn náročný způsob jeho odstraňování.

Práce postupně popisuje všechny kroky úpravy vody pro hemodialýzu, od jejího vstupu do zdravotnického zařízení po její vypuštění do odpadního potrubí. Nahlíží na problematiku převážně z pohledu technologie úpravy vody, i když nutně obsahuje i kapitoly vysvětlující podstatu věci ze strany zdravotnictví.



## 8 Seznam použité literatury

- 1            *Braunoviny* [online]. 2009 [cit. 2009-10-18]. Dostupný z WWW:  
<<http://braunoviny.bbraun.cz/cs/braunoviny/2009/braunoviny-2009-01-nahled.pdf>>. ISSN 1801-0342.
- 2            HELEKAL, Ivan. *Koordinační středisko transplantací* [online]. 2005 [cit. 2009-10-17]. Dostupný z WWW:  
<[http://www.kst.cz/web/?page\\_id=2501](http://www.kst.cz/web/?page_id=2501)>.
- 3            MOORE, Walter J. *Fyzikální chemie*. Praha : SNTL, 1976. 976 s.
- 4            Propagační materiály firmy B. Braun Medical s.r.o.
- 5            Propagační materiály firmy DWA GmbH & Co. KG
- 6            PTÁČEK, Michal. *Reverzní osmóza : princip a použití*. [s.l.], 2009. 12 s.  
VŠB - TUO. Vedoucí seminární práce doc. Ing. Petr Praus, Ph. D.
- 7            SCHUCK, O., TESAŘ, V., TEPLAN, V. *Klinická nefrologie*. [s.l.] : [s.n.], 1995. 406 s.
- 8            *Směrnice děkana HGF č. 1/2008* [online]. 2008 [cit. 2009-10-17].  
Dostupný z WWW:  
<[http://www.hgf.vsb.cz/shared/uploadedfiles/hgf/HGF\\_SME\\_08\\_001\\_ZpracovaniBakalarskePrace.pdf](http://www.hgf.vsb.cz/shared/uploadedfiles/hgf/HGF_SME_08_001_ZpracovaniBakalarskePrace.pdf)>.
- 9            TEPLAN, Vladimír. *Praktická nefrologie*. 1. vyd. [s.l.] : [s.n.], 1998. 274 s.



- 10            TEPLAN, Vladimír. *Praktická nefrologie*. 2. přeprac. vyd. [s.l.] : [s.n.], 2006. 496 s.
- 11            Veolia voda [online]. 2009 [cit. 2009-12-08]. Dostupný z WWW: <<http://www.vodarna.cz/kvalita-pitne-vody.html>>.
- 12            ŽÁČEK, Ladislav. *Chemické a technologické procesy úpravy vod*. Brno : NOEL 2000, 1999. 239 s.